

10/516380

RECEIVED

18 MAR 2004

Rec'd PCT/PTO 30 NOV 2004

PCT/JP 2004/000014

日本特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

06. 1. 2004

WIPO PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年 1月 6日

出願番号
Application Number: 特願 2003-000089

[ST. 10/C]: [JP 2003-000089]

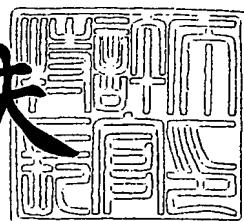
出願人
Applicant(s): 日本電信電話株式会社

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 3月 4日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特 2004-3008880

【書類名】 特許願
【整理番号】 NTTI146529
【提出日】 平成15年 1月 6日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01L 21/00
【発明の名称】 p型窒化物半導体構造及びバイポーラトランジスタ
【請求項の数】 4
【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号日本電信電話株式会社内
【氏名】 牧本 俊樹
【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号日本電信電話株式会社内
【氏名】 熊倉 一英
【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号日本電信電話株式会社内
【氏名】 小林 直樹
【特許出願人】
【識別番号】 000004226
【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社
【代理人】
【識別番号】 100088096
【弁理士】
【氏名又は名称】 福森 久夫
【電話番号】 03-3261-0690

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 007467

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 p型窒化物半導体構造及びバイポーラトランジスタ

【特許請求の範囲】

【請求項1】 エッチングによる加工を施したp型窒化物半導体の上に、Inを含むp型窒化物半導体層を成長させたことを特徴とするp型窒化物半導体構造。

【請求項2】 上記Inを含むp型窒化物半導体層がp型InGaNであることを特徴とする請求項1記載のp型窒化物半導体構造。

【請求項3】 ベース層がp型窒化物半導体であるバイポーラトランジスタにおいて、エミッタ層をエッチングすることにより露出させたp型ベース層の表面に、Inを含むp型窒化物半導体層を成長させたことを特徴とする窒化物バイポーラトランジスタ。

【請求項4】 上記p型ベース層がp型InGaNであることを特徴とする請求項3記載の窒化物バイポーラトランジスタ。

【発明の詳細な説明】

【産業上の利用分野】

【0001】

窒化物半導体はバンドギャップが大きいという特徴があるので、様々な光・電子デバイスに用いられようとしている。本発明は、この窒化物半導体のp型窒化物半導体構造に関するものである。さらに、高出力パワーアンプなどに利用される窒化物半導体バイポーラトランジスタに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

【非特許文献1】

T. Makimoto, K. Kumakura, and N. Kobayashi, J. Cryst. Growth, 221, P. 350-355 (2000)

【非特許文献2】

T. Makimoto, K. Kumakura, and N. Kobayashi

hi, phys. stat. sol. (a), P. 183-186, No. 1, 183 (2001)

【非特許文献3】

L. S. McCarthy, P. Kozodoy, M. J. W. Rodwell, S. P. DenBaars, U. K. Mishra, IEEE Electron Device Letters, 20, P. 227-279 (1999)

【非特許文献4】

B. S. Shelton, D. J. H. Lambert, Jian Jang Huang, M. M. Wong, U. Chowdhury, Ting Gang Zhu, H. K. Kwon, Z. Liliental-Weber, M. Benarama, M. Feng, R. D. Dupuis, IEEE Trans. Electron Devices, 48, P. 490-494 (2001)

【非特許文献5】

K. P. Lee, A. P. Zhang, G. Dang, F. Ren, J. Han, S. N. G. Chu, W. S. Hobson, J. Lopata, C. R. Abernathy, S. J. Pearson, J. W. Lee, Solid-state Electron., 45, P. 243-247 (2001)

エッチングなどで加工したp型窒化物半導体の表面は、加工によってダメージを受ける。このダメージはn型の伝導性を示すために、加工したp型窒化物半導体の表面にオーム電極を形成しても良好な電流-電圧(I-V)特性を得ることができない(T. Makimoto, K. Kumakura, and N. Kobayashi, J. Cryst. Growth, 221, P. 350-355 (2000) :非特許文献1、T. Makimoto, K. Kumakura, and N. Kobayashi, phys. stat. sol. (a), P. 183-186, No. 1, 183 (2001) :非特許文献2)。

【0003】

このダメージの影響を減少させることを目的として、ダメージを受けた層の上に、新たにp型半導体を成長する方法が報告されている。ここでは、ベース層が

p型窒化物半導体であるn p n型窒化物半導体ヘテロ接合バイポーラトランジスタ（HBT）に関する研究を中心に従来の技術を説明する。

【0004】

HBTを作製する典型的なプロセスの一例を図8に示す。HBT作製プロセスでは、ベース電極を形成するために、エミッタ層をエッティングで除去してベース面を露出させる。この露出した面にベース電極を形成する。この露出したベース面はエッティングダメージを受けているために、ベース層がp型GaNの場合のベース電極は良好なI-V特性を示さない。さらに、作製したHBTは良好なエミッタ接地I-V特性を示さない。つまり、従来のHBTのエミッタ接地I-V特性では、電流利得が小さく、また、立ち上がり電圧が大きい、という問題があった。このベース層表面のダメージの影響を減少させることを目的として、ダメージを受けたp型窒化物半導体ベース層の上に、新たなp型半導体を成長する方法が報告されている。

【0005】

以下に、これらの従来方法について述べる。ダメージの影響を減少させるための一つ目の方法は、ダメージを受けた表面にp型GaNを再成長する方法である（L. S. McCarthy, P. Kozodoy, M. J. W. Rodwell, S. P. DenBaars, U. K. Mishra, IEEE Electron Device Letters, 20, P. 227-279 (1999). :非特許文献3、B. S. Shelton, D. J. H. Lambert, Jian Jang Huang, M. M. Wong, U. Chowdhury, Ting Gang Zhu, H. K. Kwon, Z. Liliental-Weber, M. Benarama, M. Feng, R. D. Dupuis, IEEE Trans. Electron Devices, 48, P. 490-494 (2001). :非特許文献4）。

【0006】

その構造の模式図を図9に示す。いずれの報告でも、ベース層の再成長を行なっているのにもかかわらず、HBTの電流利得は10以下であり、大きな値は得られていない。

【0007】

また、非特許文献3では、エミッタ接地I-V特性における立ち上がり電圧は、5V以上である。

【0008】

非特許文献4では、報告されているエミッタ接地I-V特性は漏れ電流が大きいので、立ち上がり電圧を測定することは不可能である。

【0009】

このように、エッティングによって露出したベース層の上にp型GaNを再成長(外部ベース層と呼ぶこともある。)しても、HBTの特性はほとんど改善されなかった。p型窒化物半導体の典型的な例であるp型GaNを用いた再成長の場合では、再成長界面に存在する加工ダメージを修復できなかったために、HBTの特性が改善されなかったものと考えられる。このことは、良好なHBTを作製するためには、再成長する材料が重要であることを示している。

【0010】

二つ目の方法は、p型GaNを再成長する代わりに、ダメージを受けた表面にp型GaAsを再成長する方法である(K. P. Lee, A. P. Zhang, G. Dang, F. Ren, J. Han, S. N. G. Chu, W. S. Hobson, J. Lopata, C. R. Abernathy, S. J. Pearton, J. W. Lee, Solid-state Electron., 45, P. 243-247 (2001)。:非特許文献5)。p型GaAsの正孔濃度は 10^{20} cm^{-3} であり、室温におけるp型GaNの正孔濃度よりも100倍以上も高い。良好なHBT特性を得ることを目的として、この高い正孔濃度に注目した報告である。

【0011】

しかしながら、p型GaAsの再成長を行なっても、エミッタ接地I-V特性における電流利得は5以下、立ち上がり電圧は3.5V以上であり、良好なHBT特性が得られていない。この場合も、p型GaNベース層とp型GaAs成長層の間に存在する加工ダメージを修復することができなかったために、HBT特性が改善されなかったものと考えられる。このことは、ただ単に、加工ダメージ

を受けたp型GaNの上に再成長した層の正孔濃度を高くしても、良好なHBTを作製することはできないことを示している。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の第一の目的は、加工したp型窒化物半導体の表面上に良好なオーム電極を形成することが困難であった点を解決し、良好なオーム電極を形成することができるp型窒化物半導体構造を提供することにある。

【0013】

本発明の第二の目的は、従来の窒化物半導体バイポーラトランジスタの電流利得が他の半導体で作製したバイポーラトランジスタの電流利得よりも著しく小さかった点を解決し、電流利得を飛躍的に向上させた窒化物半導体バイポーラトランジスタを提供することにある。

【0014】

本発明の第三の目的は、従来の窒化物半導体バイポーラトランジスタの立ち上がり電圧がバンドギャップから予想される値よりも著しく大きかった点を解決し、バンドギャップから予想される値に近い値まで減少させることのできる窒化物半導体バイポーラトランジスタを提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】

本発明は、エッチングによる加工を施したp型窒化物半導体の上に、Inを含むp型窒化物半導体層を成長させたことを特徴とするp型窒化物半導体構造である。

【0016】

また、本発明は、ベース層がp型窒化物半導体であるバイポーラトランジスタにおいて、エミッタ層をエッチングすることにより露出させたp型ベース層の表面に、Inを含むp型窒化物半導体層を成長させたことを特徴とする窒化物バイポーラトランジスタである。

【0017】

すなわち、本発明は、加工したp型窒化物半導体の上にInを含むp型窒化物

半導体を再成長した構造であることを最も主要な特徴とする。なお、従来の技術とは、再成長したp型窒化物半導体にInが含まれている点が異なる。

【0018】

【作用】

加工ダメージを受けたp型窒化物半導体の上にInを含むp型窒化物半導体を成長させた場合には、In原子によって良好な再成長界面が得られ、加工ダメージを大幅に減少させることができる。その結果、良好なオーミック電極を形成することができる。本発明をバイポーラトランジスタの外部p型ベース層の再成長に適用すれば、加工ダメージにより発生するベース漏れ電流が減少する。その結果、飛躍的な電流利得の向上、および、低い立ち上がり電圧を得ることができる。

【0019】

【実施例】

本例では、図1に示す窒化物バイポーラトランジスタを作成した。以下より詳細に述べる。

【0020】

このバイポーラトランジスタは、ベース層2がp型窒化物半導体であるバイポーラトランジスタにおいて、エミッタ層1をエッチングすることにより露出させたp型ベース層2の表面に、Inを含むp型窒化物半導体層8を成長させた窒化物バイポーラトランジスタである。本例では、p型ベース層2はp型InGaNである。

【0021】

以下より詳細に述べる。有機金属気相成長法(MOVPE法)を用いてSiC基板7上にn-p-n型HBTを作製した。成長した層構造の模式図を図2に示す。エミッタ層1はn型GaN、ベース層2はp型InGaN、コレクタ層4はn型GaNであり、ダブルヘテロ構造を採用した。コレクタ層4はトリメチルガリウム、アンモニアを用いて1000°Cで成長した。グレーデッドInGaN層3、ベース層2、コレクタ層4は、トリメチルインジウム、トリエチルガリウム、アンモニアを用いて780°Cで成長した。p型不純物にはMg原子を用い、n型

不純物にはSi原子を用いた。

【0022】

ベース層2にはp型InGaNを用いているが、このp型InGaNのIn組成が大きくなるとGaNとの格子定数差が大きくなるため、欠陥密度が増加する。この結果、少数キャリアの寿命が短くなるので、電流利得が小さくなる恐れがある。そこで、本実施例におけるp型InGaNのIn組成は7%と比較的小さな値を用いた。これに対して、In組成が小さいと加工ダメージの影響が大きくなるので（非特許文献1参照）、電流利得と加工ダメージの関係はトレードオフの関係にあると考えられる。かかる点から、p型InGaNベース層2のIn組成は、5%から30%程度が望ましい。また、p型InGaNベース層2とn型GaNコレクタ層4とを単純に接合させると、ベース層2とコレクタ層4との間に伝導帯不連続によるスパイクが発生する。このスパイクは、エミッタ層1からベース層2に注入された電子がコレクタ層4へ走行するのを妨げるので、電流利得を減少させる。この影響を無くすために、ベース層2とコレクタ層4との間にIn組成を徐々に変化させたグレーデッドInGaN層3を挿入した。

【0023】

まず、塩素ガスを用いたドライエッチング（反応性イオンエッチング）によって、図2に示すHBT層構造に対する加工を行いベース面およびコレクタ面を露出させた。

【0024】

次に、p型InGaNベースを再成長させたくない部分をSiO₂マスク9で覆った。その後、トリメチルインジウム、トリエチルガリウム、シクロペンタジエニルマダネシウム（Mg原子の原料ガス）、アンモニアを用いて、p型InGaNベース8を外部ベース上に再成長させた。この再成長の成長温度は、ベース層2を成長させた温度（本実施例では780°C）よりも低い温度とすることが望ましいので、本実施例では750°Cとした。

【0025】

この再成長させるp型InGaNベース8のIn組成は、p型InGaN層2のIn組成よりも高いことが望ましい。再成長を行なった後の様子を模式的に表

した図を図3に示す。この後、 SiO_2 マスク9をHFで除去し、各電極（ベース電極9、コレクタ電極10）を電子ビーム蒸着により形成した。最終的に作製したHBTの模式図を図1に示す。

エミッタ電極の大きさは、 $50\text{ }\mu\text{m} \times 30\text{ }\mu\text{m}$ である。

【0026】

本例で再成長させたp型InGaNベース8上に二つのPd/Au電極を形成し、その電極間のI-V特性を測定した。図4は、p型InGaNベース8を再成長させた場合のI-V特性（実施例）と再成長をしなかった場合（従来方法）とのI-V特性を比較して示している。従来方法では、エッチングダメージのために、オーミック特性が得られなかった。これに対して、実施例のようにp型InGaNベース8を再成長をさせた場合には、I-V特性が大幅に改善されていることがわかる。

【0027】

本発明を使用せずに、図8の典型的なHBTプロセスによって、HBTを作製した。非特許文献2で紹介されているエミッタ接地特性の一例を図5に示す。このHBTでは、p型InGaN層をベース層に用いているので、加工ダメージはp型GaNの場合よりも少ない。それにもかかわらず、電流利得の最大値は20程度であり、立ち上がり電圧は6V程度である。立ち上がり電圧が期待値から予想される値からのズレは5V以上である。これに対して、本実施例におけるHBTのエミッタ接地I-V特性を図6に示す。電流利得の最大値は2500以上である。図7は、立ち上がり電圧を調べるために、小さな電流値で測定したエミッタ接地I-V特性である。図7から、立ち上がり電圧は0.27Vであることがわかる。GaNエミッタ層1とIn組成が7%のInGaNベース層2の伝導帯不連続量は0.2Vであるので、この不連続量にほぼ等しい立ち上がり電圧が得られた。立ち上がり電圧が期待値から予想される値からのズレは0.1V以下である。このように、従来方法で作製した場合に比べ、本例におけるHBTは、電流利得は100倍以上に大幅に増加し、立ち上がり電圧が期待値から予想される値からのズレも1/50以下に激減した。

【0028】

以上のように、再成長層にp型InGaNベース8を用いることにより、HBTの特性を大幅に改善することができる。p型窒化物半導体に含まれるIn原子によって、加工ダメージが修復されたためであると考えられる。

【0029】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明では、加工ダメージのあるp型窒化物半導体の上にInを含むp型窒化物半導体を再成長することにより、加工ダメージが修復され、オーム特性が大幅に改善される。このため、本発明をHBTのベース層に適用すれば、電流利得および立ち上がり電圧を大幅に改善することができるという利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明を用いて作製したHBT構造を模式的に表した図を示す。

【図2】

実施例で使用したn p n型HBTの層構造の模式図を示す。

【図3】

p型InGaNの再成長を行なった後の様子を模式的に表した図を示す。

【図4】

p型InGaNを再成長した場合のI-V特性（本発明）と再成長をしなかつた場合（従来構造）のI-V特性を比較した図を示す。

【図5】

従来の方法で作製したHBTのエミッタ接地特性の一例を示す。

【図6】

実施例におけるHBTのエミッタ接地I-V特性を示す。

【図7】

立ち上がり電圧を調べるために、小さな電流値で測定したエミッタ接地I-V特性を示す。

【図8】

HBTを作製する典型的な従来のプロセス（再成長無し）の一例を示す。

【図9】

エッチングダメージを受けたp型GaNにp型GaNを再成長した場合の従来例に係るHBT構造の模式図を示す。

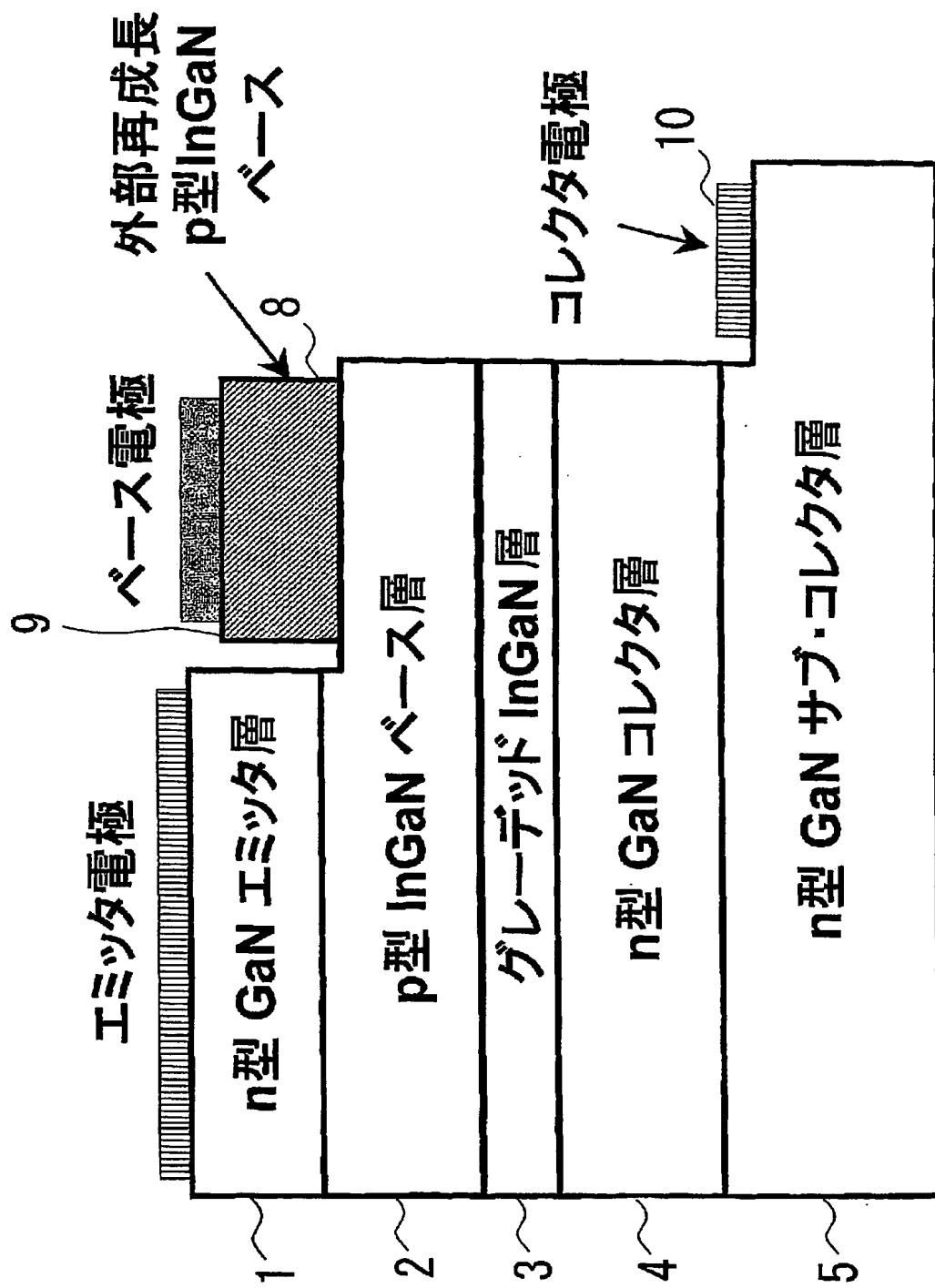
【符号の説明】

- 1 n型GaNエミッタ層、
- 2 p型InGaNベース層
- 3 グレデッドInGaN層
- 4 n型GaNコレクタ層
- 5 n型GaNサブ・コレクタ層
- 6 AlNバッファー層
- 7 SiC基板
- 8 外部成長p型InGaNベース
- 9 ベース電極
- 10 コレクタ電極

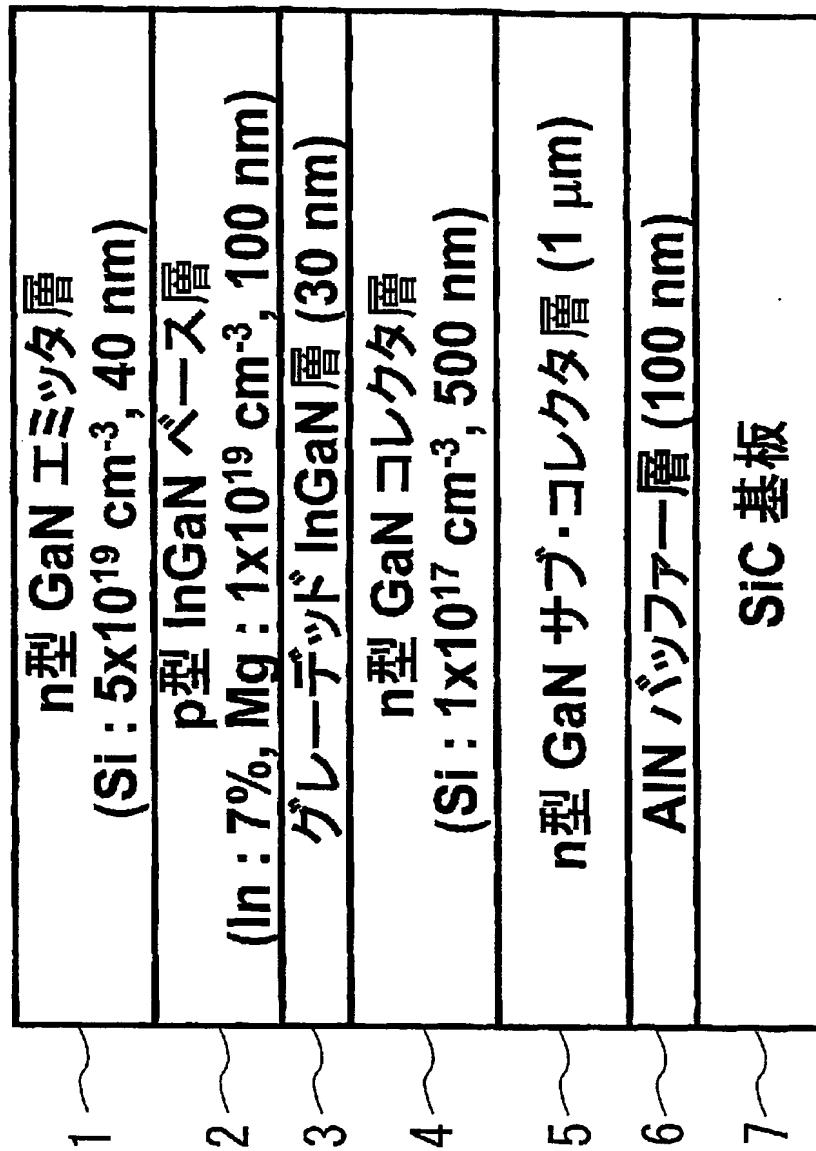
【書類名】

図面

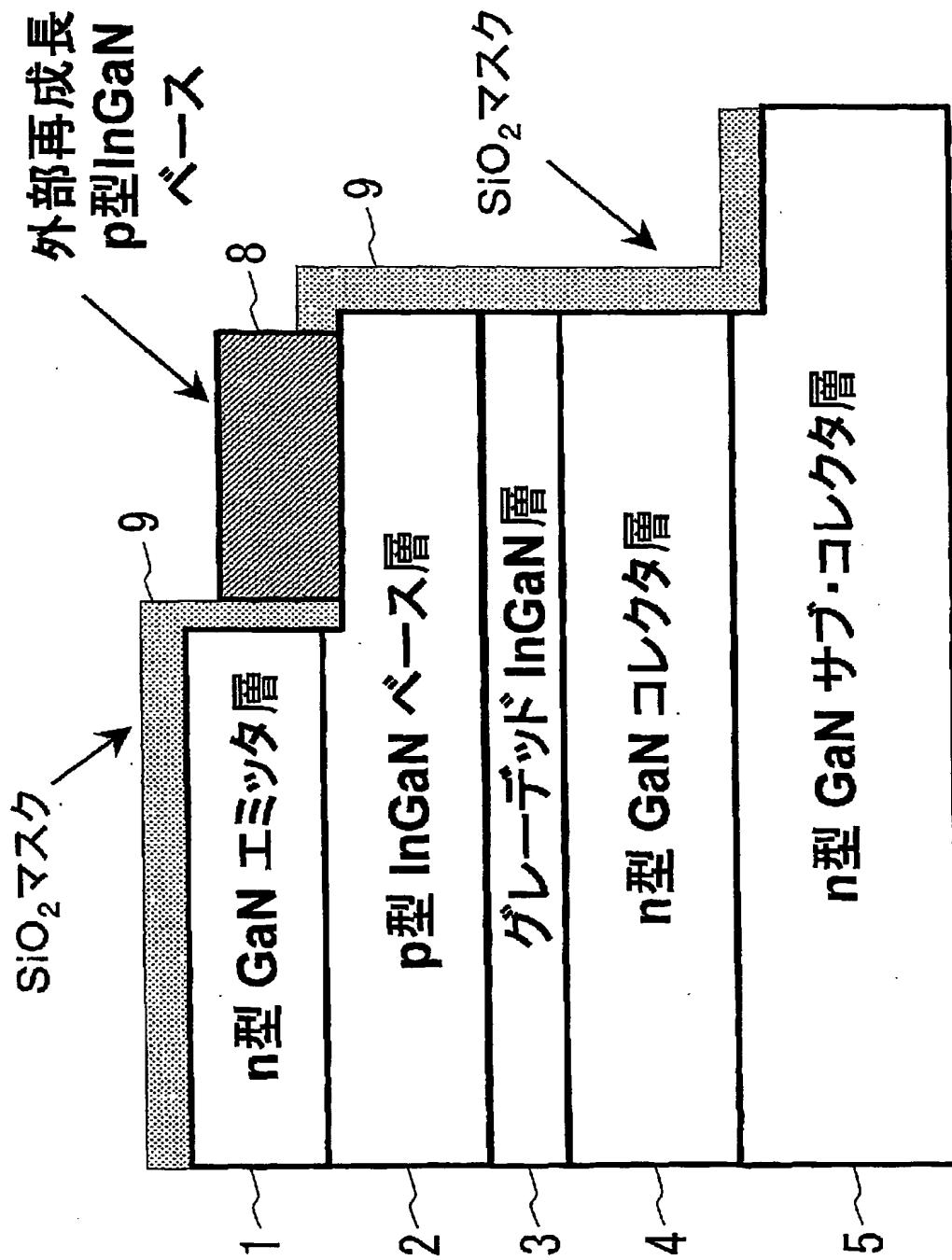
【図 1】



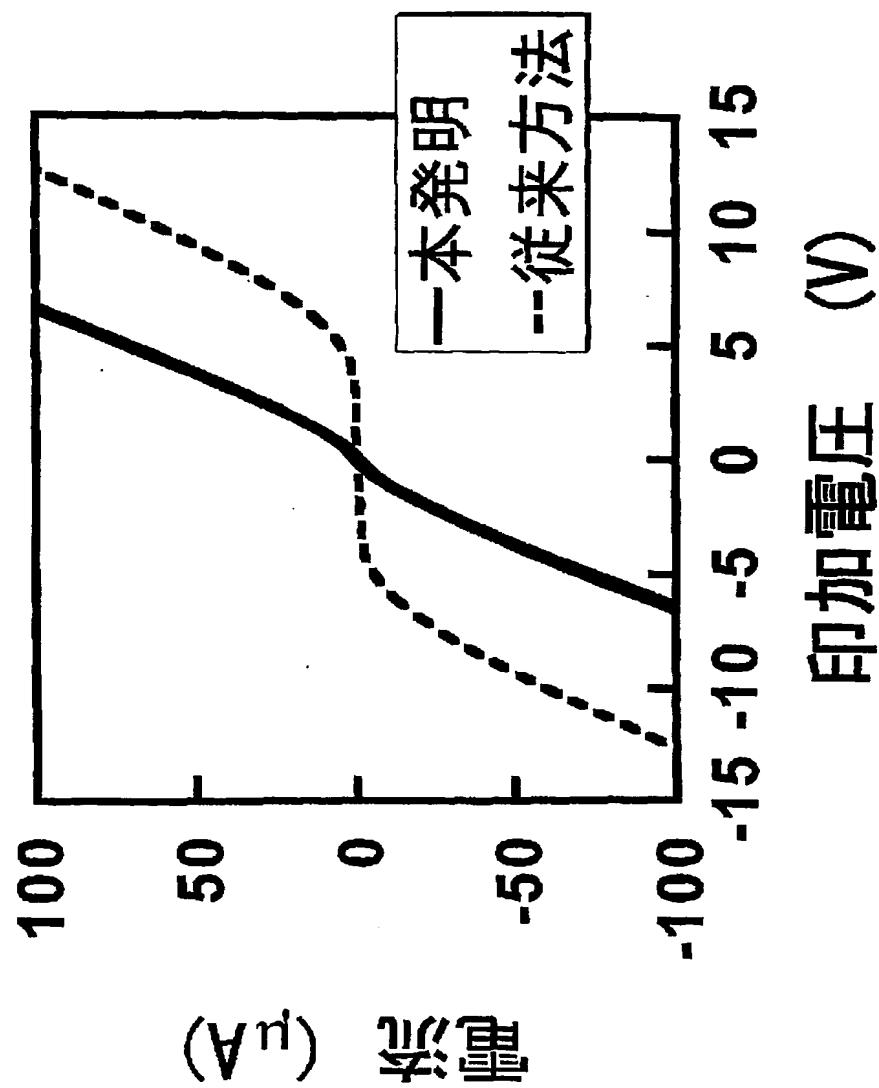
【図2】



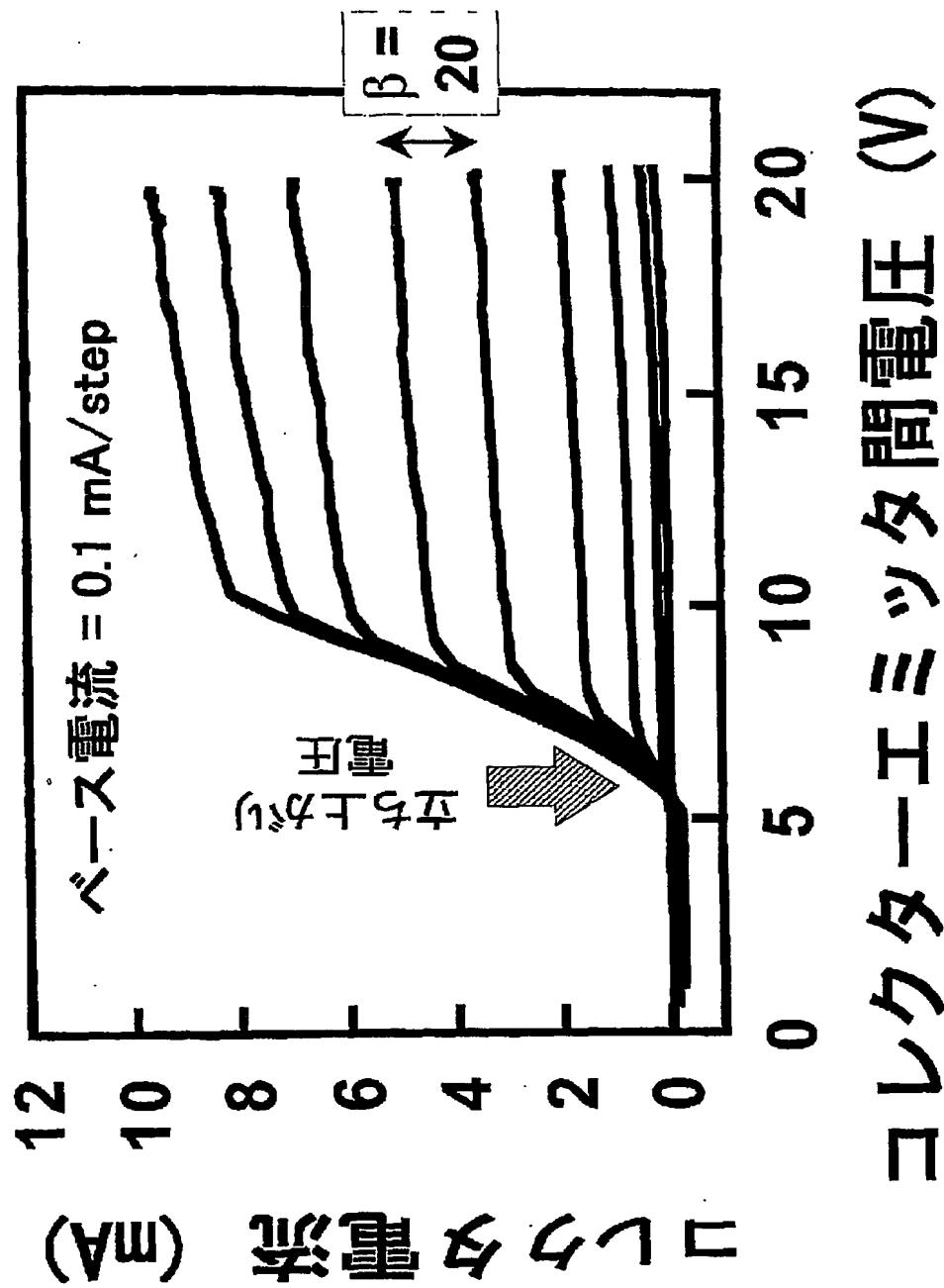
【図3】



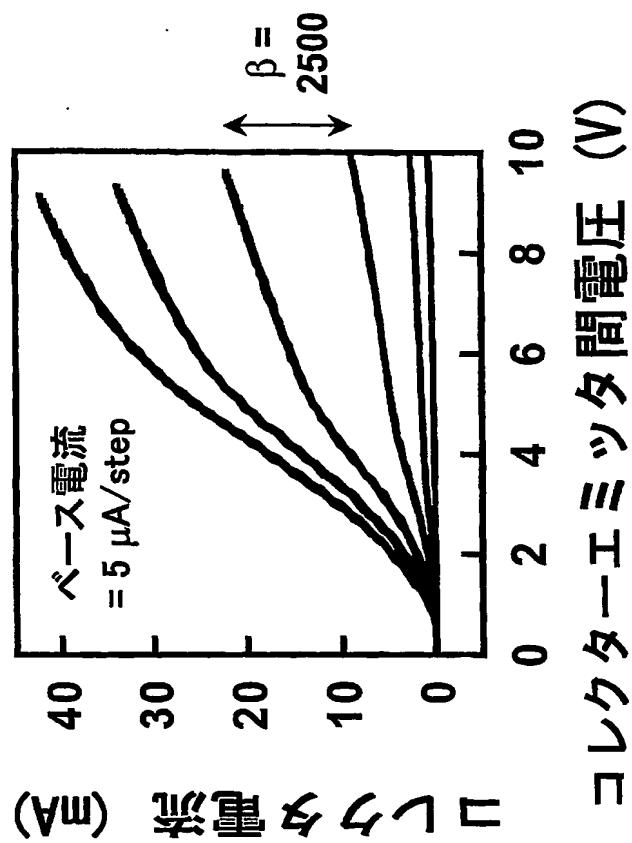
【図4】



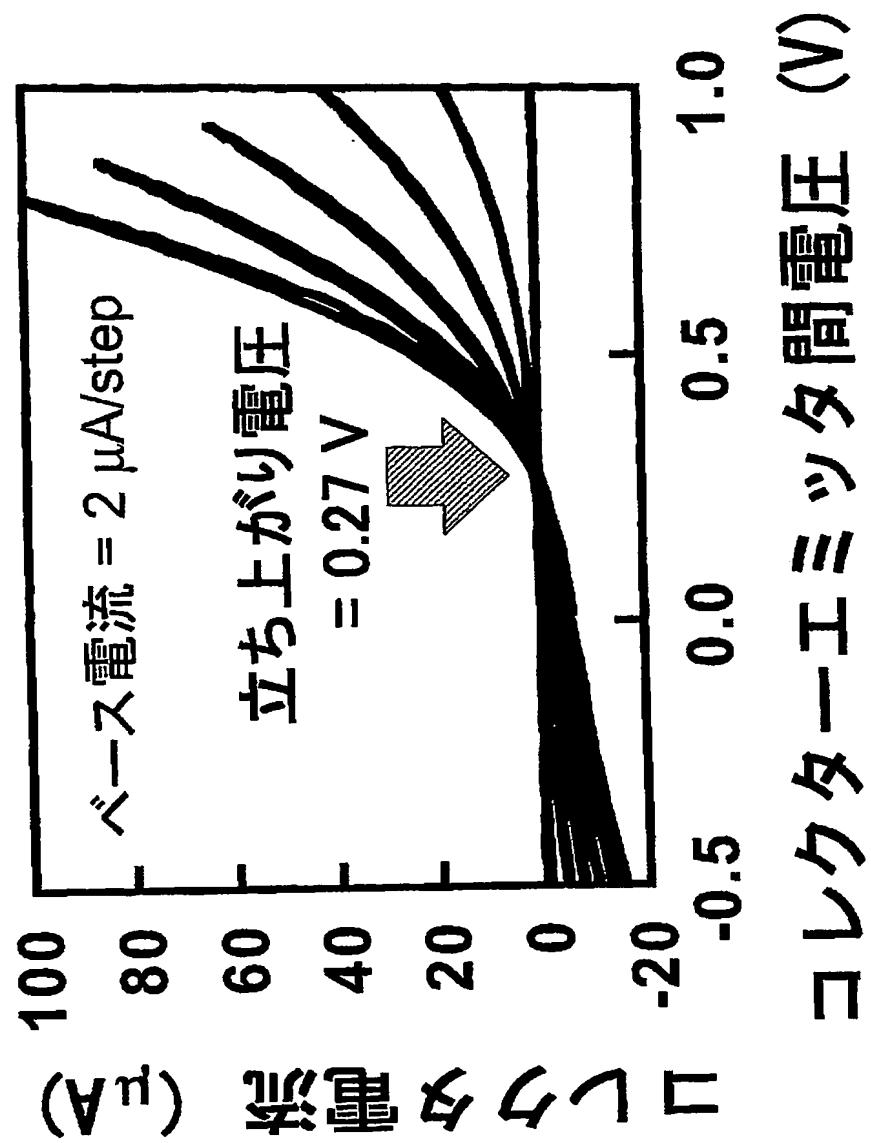
【図5】



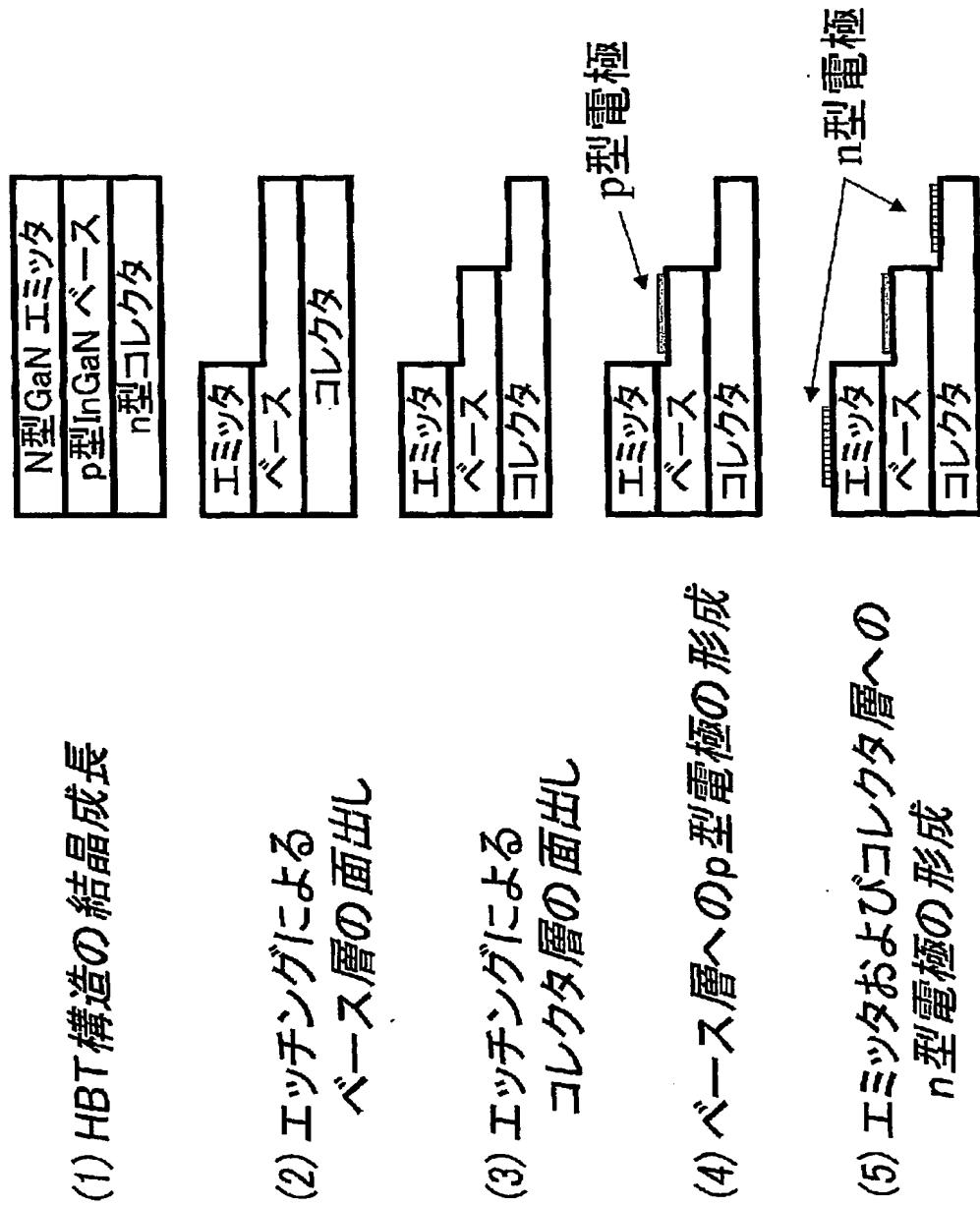
【図6】



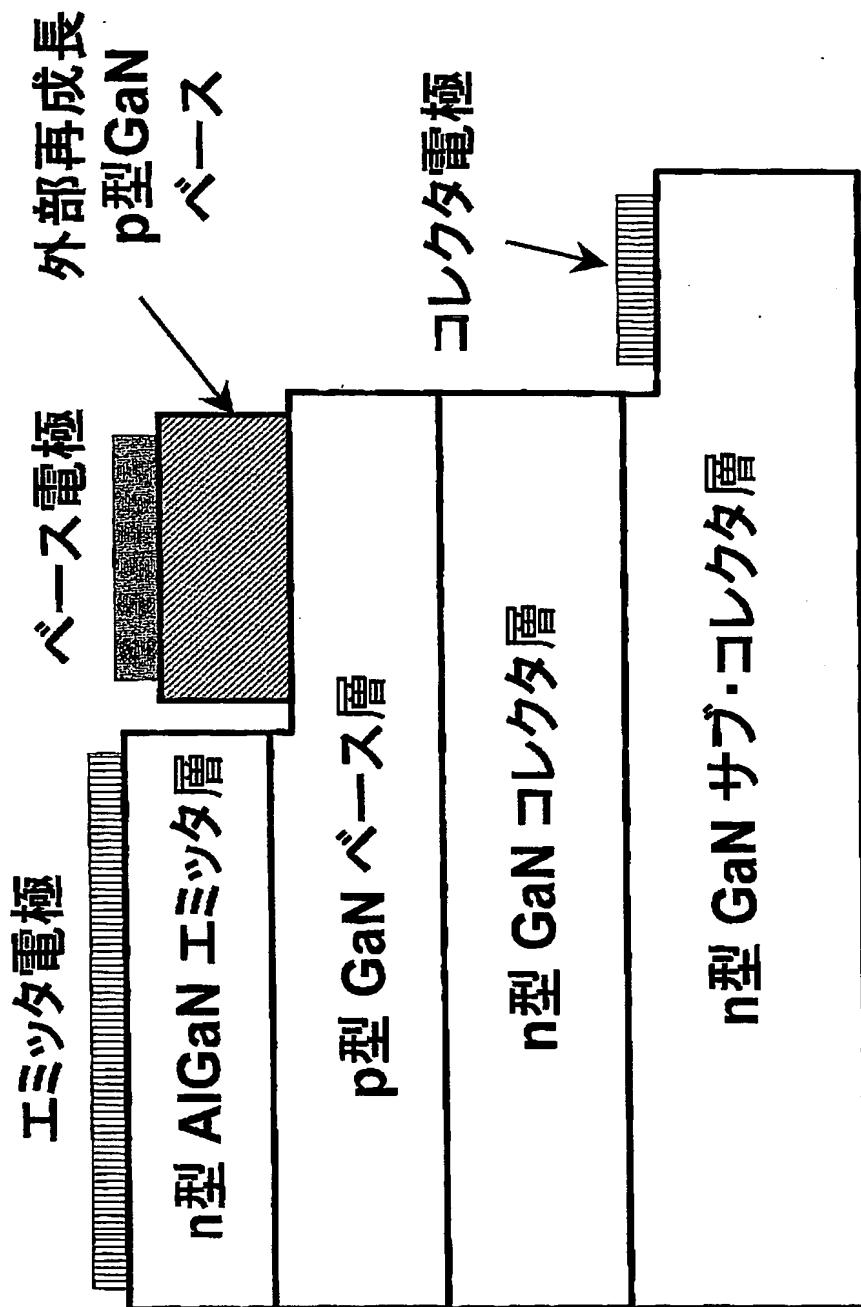
【図7】



【図 8】



【図9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 加工ダメージのある p 型窒化物半導体の上に I n を含む p 型窒化物半導体を再

成長することにより、加工ダメージが修復され、オーミック特性が大幅に改善された p 型

窒化物半導体構造を提供すること。また、電流利得および立ち上がり電圧を大幅に改善す

ることができた p 型窒化物半導体バイポーラトランジスタを提供すること。

【解決手段】 エッチングによる加工を施した p 型窒化物半導体 2 の上に、 I n を含む p 型窒化物半導体層 8 を成長させたことを特徴とする。

ベース層が p 型窒化物半導体であるバイポーラトランジスタ 3 において、エミッタ層 1 を

エッチングすることにより露出させた p 型窒化物半導体ベース層 2 の表面に、上記 I n を

含む p 型窒化物半導体ベース 8 を成長させることを特徴とする。

【選択図】 図 1

特願 2003-000089

出願人履歴情報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日 1999年 7月15日

[変更理由] 住所変更

住 所 東京都千代田区大手町二丁目3番1号

氏 名 日本電信電話株式会社